清酒製造における発酵タンクの品温管理の自動化に関する研究（第２報）

生産技術部
大坪昭文　林健一郎
天山酒造株式会社
後藤潤

本研究では，清酒もろみの発酵工程において酒造熟練者が品温管理のために行なっていた，複数の発酵タンク毎の操業データの収集や管理作業をパソコンで一括して行なうシステムの設計および製作を行なった．そして，このシステムのパソコン上にプログラミング言語の VBA を用いて発酵タンクの操業データを収集するといったプログラムモジュールを作成した．その結果，作成したプログラムモジュールをデータ集計ソフトウェアの Excel に組み込むことにより，複数の発酵タンク毎の操業データの収集や管理作業をパソコン上で行なうことが可能となった．

１．はじめに

佐賀県の清酒製造業においては酒造熟練者の高齢化が進んできているため，将来の酒造熟練者不足への対応に加えて，佐賀県特有の酒造りの伝承や清酒の品質の向上を図ることが必要不可欠となっている．

そこで，本研究においては，佐賀県の酒造熟練者が種々の発酵パラメータに基づき従来経験的に行なっていた，清酒の製造工程におけるもろみ発酵タンクの品温管理の自動化について研究を行なう．

本年度の報告では，もろみ発酵タンクの品温管理に関する作業を一括して行なう目的で設計および製作した，複数の発酵タンク毎の操業データをパソコン上で収集，管理するシステムについて説明する．加えて，このパソコンによる収集，管理システムを動作させるにあたり必要となる，発酵タンク毎の操業データをパソコン上に収集するといったプログラムモジュールの作成法について説明する．

２．もろみ発酵タンクの品温の集中管理

もろみの発酵管理の方法としては品温の制御を主として行なうが，清酒は並行複発酵により製造されるので，もろみの品温制御は米デンプンの糖化とアルコール発酵の両方に影響を及ぼす．従って，もろみの発酵管理における品温制御は，糖化の具合を表すボーメ度やアルコール生成の具合を表すアルコール度といった発酵パラメータを基に行なうことになる[1)]．

2.1 もろみ発酵タンクの品温制御

もろみは通常金属製の仕込みタンクに入れられており，その周りに冷水を循環させる冷水ジャケットなどの冷却設備が取り付けてある．もろみは発酵により発熱するので，冷水ジャケットに冷水を供給する電動バルブを開閉して冷水量を調節することにより，設定した品温になるようもろみの品温制御を行なう．

本研究においては，発酵タンクの品温制御系として図１に示すような実際に酒造メーカにある既存のシステムを対象とするが，発酵タンク内のもろみの品温が制御量，冷水ジャケットへ供給する冷水の流量が操作量となる．発酵タンク内には温度センサとして測温抵抗体が取り付けられており，それを用いてもろみの品温を測定している．冷水の流量制御には市販の制御器を使用しており，センサで測定された品温と品温の目標値とを比較して，電動バルブの開閉を決定する．そして，制御器からのリレー出力により電動バルブを動作させて，もろみの品温が目標値になるよう冷水の流量を調節する．

もろみの発酵管理は品温を制御することで行われるが，杜氏ら酒造熟練者は，ボーメ度やアルコール度などで発酵の進行具合を見ながら，もろみ期間における発酵タンクの品温を決定している．そして，酒造熟練者が行なってきた発酵管理の操業データは，発酵タンク毎にもろみの分析値と品温の測定値などを紙媒体に記録して残されてきた．しかし，この従来のやり方では，複数ある発酵タンク毎の品温の測定や品温の目標値の設定作業な

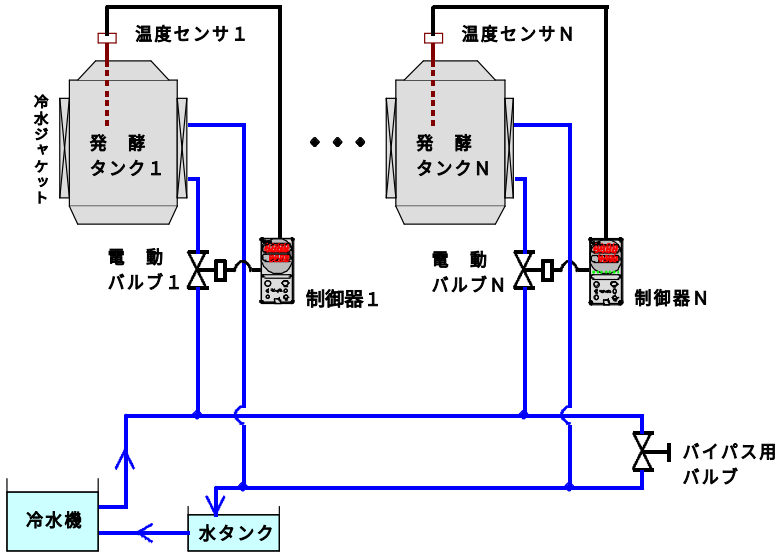


図１　発酵タンクの品温制御系（既存システム）

ど，高齢化している酒造熟練者にとっては作業負担が大きく，それらを如何にして軽減するかという課題があった．そこで，もろみの発酵管理において操業データの収集から管理までパソコンを用いて一括して行なうことが必要となってくる．

2.2 複数の発酵タンクの集中管理

清酒製造では酒造熟練者により酒蔵独特の酒の味をそこの既存の設備を用いて実現しているので，本研究においては新たに既存設備に機能を追加する形で，複数の発酵タンクを一括して管理できるシステムの設計および製作を行なうことにする．

前述したように，酒造熟練者はタンク毎のもろみ発酵の進行具合を表す発酵パラメータから品温の目標値を決定し，その値を制御器の目標値として設定している．制御器ではこの目標値と現在の品温の測定値とを比較して制御演算を行ない，リレー出力により電動バルブを開閉している．制御器では制御を行なう上で必要となるデータ(目標値，測定値，操作量などの制御パラメータ)をメモリの中に保存し，外部パソコンから通信機能を用いてこれらのデータを読み書きできるようになっている．そこで，パソコンと発酵タンクの制御器とを信号線で結び通信させることにより，発酵タンク毎の品温制御のデータを制御器から収集するとともに，もろみ品温の目標値などの制御パラメータを制御器へ設定するシステムを構築した．今回パソコンを用いて構築したシステムを図２に示す．

なお，アルコール度やボーメ度などのもろみ成分は，国税庁所定分析法注解[2)]に従って人手で分析せざるをえないので，それらの分析結果はパソコンへ直接入力することになる．

ここで用いた制御器（山武製 SDC25）には通信機能として RS-485 というシリアルインターフェース規格が採用されている[3)]が，この規格はリモート I/O や PLC（Programmable Logic Controller）といった計測・制御機器の通信ネットワーク接続に広く用いられているものである．RS-485 は＋の信号線と－の信号線の２本を用いて信号を伝達する方式であり，＋と－の信号は必ず逆の電気特性となる．例えば，0～5V の電圧を信号に使用する場合には＋側が 5V であれば－側は 0V となる．この方式では２つの信号の電圧の差を正式な信号として扱い，互いに雑音を打ち消し合うため，高速の遠距離通信が可能となる．また，RS-485 は１組の信号線上に複数の機器を接続できるマルチドロップが可能であるため，親機１台に対し子機が最大で 31 台まで接続できる．仕様としては，ツイストペアケーブル使用で最長 1.2km，通信速度はケーブル長にもよるが最高 10Mbps となっている．図３に RS-485 の仕様説明を示す．

一方，パソコンに装備されている通信用規格は RS-232C というシリアルインターフェースであるが，RS-232C はパソコンやモデム，プリンタなど PC 周辺機器の通信規準として良く用いられてきた規格である．その仕様として，ケーブルの長さは 15m 以内，通信速度は最大 20kbps のシングルエンドチャネルを提供しているものの，１対１の

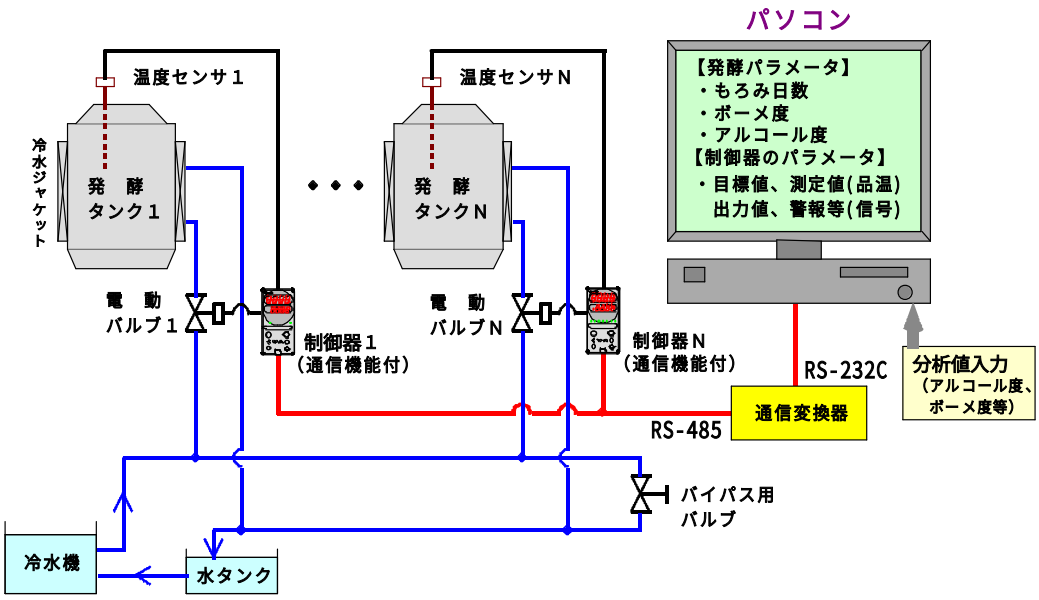


図２　複数の発酵タンクの集中管理システム

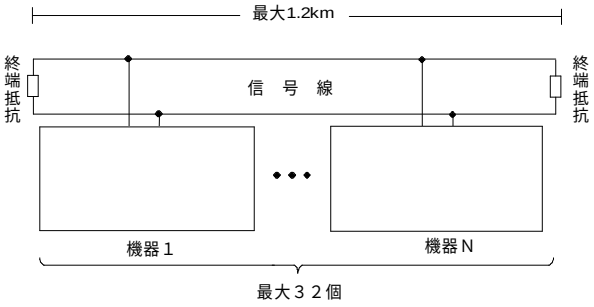


図３　RS-485 の仕様説明

通信方式でありマルチドロップ方式には対応していない.

RS-485 と RS-232C は両者ともシリアルインターフェースであるが信号端子や信号レベルが異なるため，RS-485 と RS-232C を用いてシステムを構築する場合には，両者の信号変換を行なうための信号変換器が必要となってくる．両者の信号変換器の選定にあたって,組合せ機器の送受信特性,ライン抵抗，終端抵抗，バイアス印加回路などの

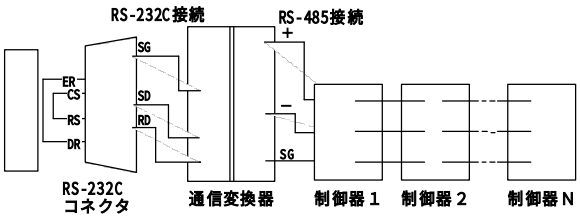


図４　パソコンと制御器間の信号配線

整合など，安定した動作が保証されていなければならない．ここでは，オムロン製の通信変換器（K3SC）を採用したがこの変換器を用いることで,親機であるパソコン側から子機である複数の制御器すべてに対し，RS-232C 規格で接続されているものとしてシリアル通信することが可能となる[4)].

通信変換器とパソコンとを接続する場合には,パソコン側の RS-232C 規格の信号端子の RD, SD, SG を通信変換器側のそれぞれ対応する信号端子にストレートに接続する．また, パソコン側の ER と DR 端子, および RS と CS 端子はそれぞれ短絡しておく.

通信変換器と複数の制御器とを接続する場合には，通信変換器と複数の制御器の RS-485 規格の信号端子＋，－，SG をストレートに接続する．ここで，SG は安定した通信を行なうための接地信号端子であり, RS-485 規格では信号端子＋，－, SG の合計３線を通信に使用することになる．実際の接続においては，端子ねじに負担がかからないように，まず通信変換器とそれに最も近い制御器とを接続し，次からは各制御器間を中継して繋げていく.以上述べてきたパソコンと通信変換器,および各制御器間の配線の仕方を図４に示す.

2.3 操業データの収集と管理

ここでは，図２に示すシステム構成において,パソコンと制御器とのシリアル通信により制御器内のデータをパソコンへ読み出す方法，あるいは

逆にパソコンから制御器内にデータを書き込む方法について説明する．

通信のプロトコルは山武固有の方式の CPL 通信方式 であり，通信条件 として は伝送 速度 ：9600bps，データ長：8 ビット，パリティ：偶数，ストップビット：１ビットとする．

CPL 通信方式におけるデータ通信の手順を以下に示す．

①パソコン側から命令電文を全ての制御器へ送信する．

②命令電文は全ての制御器で受信するが，電文に指定された該当の制御器のみ電文の内容に従って，データの読み出し，あるいは書き込みの処理を行なう．

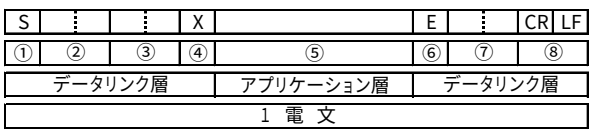
③電文の内容に従った処理を行なった制御器は，処理内容に応じた応答電文をパソコンに返信する．

④パソコン側で指定された制御器からの応答電文を受信する．

CPL 通信方式において，電文は 1 文字 1 バイトの ASCII コードで表現されており，図５に示すようにデータリンク層とアプリケーション層に分けられている．ここで，データリンク層は，通信に必要な情報である通信電文の行き先，電文のチェック情報，データの区切りなどから構成されている．一方，アプリケーション層は，読み書きのために必要となる命令，データアドレス，読み書きデータなどから構成されている．

なお，チェックサムは電文が通信途中でノイズ等により変化しなかったかを確認するためのものである．チェックサムは，電文の S から E までのキャラクタコードを１バイトずつ加算し，加算結果の下位１バイトに対する２の補数を計算し，その値の 16 進表記を１文字ずつ ASCII コードとして表現される．

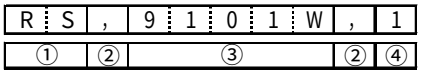
この CPL 通信方式には，制御器内からのデータ読み出しと制御器内へのデータ書き込みを行なうために，それぞれ RS コマンドと WS コマンドが



①S (電文の先頭)
②機器アドレス
③サブアドレス
④X (区分コード)
⑤命令電文：コマンド、応答電文：レスポンス
⑥E (コマンド／レスポンスの終了)
⑦チェックサム
⑧電文の最後 (終了キャラクタ)

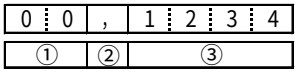
図５　電文の構成

RSコマンド
○命令電文 (アプリケーション層)



①データ読み出しコマンド
②データ区切り
③データアドレス
④データ数

○応答電文 (アプリケーション層)



①終了コード
②データ区切り
③読み出したデータ

図６　RS コマンドの場合の電文構成
（アプリケーション層のみ）

用意されている．以下に RS コマンドと WS コマンドを使用したデータ読み出し，データ書き込みのプログラム作成について述べる．

(a)RS コマンドによるデータ読み出しプログラム

RS コマンドは指定した制御器内の任意のデータアドレスの内容を読み出すための命令である．ここで，複数ある制御器は機器アドレス，また測定値，目標値などはデータアドレスによって区別される．

この場合のプログラムの流れは次のようになる．

①命令電文の作成
機器アドレスとデータアドレスを設定して命令電文を作成する．

②命令電文の送信

③応答電文の受信
終了キャラクタを受信するまで最大２秒間待ち，２秒以内に終了キャラクタを受信しなかった場合は受信エラーとする．

④応答電文の確認
チェックサム，終了コードを確認し，エラーの場合はその内容を示す．

⑤制御器内から読み出したデータの取得
応答電文の中から指定したデータアドレスの内容を取得する．

RS コマンドの場合の命令電文と応答電文の構成を図６に示す．

(b)WS コマンドによるデータ書き込みプログラム

WS コマンドは指定した制御器内の任意のデータアドレスにデータを書き込むための命令である．

この場合のプログラムの流れは次のようになる．

①命令電文の作成
　機器アドレス，データアドレス，書き込みデータを設定して命令電文を作成する．
②命令電文の送信
③応答電文の受信
　終了キャラクタを受信するまで最大２秒間待ち，２秒以内に終了キャラクタを受信しなかった場合は受信エラーとする．
④応答電文の確認
　チェックサム，終了コードを確認し，エラーの場合はその内容を示す．

WS コマンドの場合の命令電文と応答電文の構成を図７に示す．

以上のプログラム作成にはプログラミング言語の VBA（Visual Basic for Applications）を用い，それぞれをモジュール化すなわち関数形にしておく．プログラミング言語の VBA は Excel のようなデータ集計ソフトウェアとリンクできるので，作成したプログラムモジュールをデータ集計ソフトウェアに組み込むことで，データの収集や集計，管理が容易となる．ここで作成したプログラムモジュールのコードの一例を図８に示している．

なお，通信プログラム を作成するために は，Visual Basic 6.0 の RS-232C 通信用コンポーネントである Microsoft Comm Control というコントロールを使用できるよう環境設定（Microsoft から提供されているプログラムの追加作業）を行なう必要がある．

WSコマンド
○命令電文（アプリケーション層）

W	S	,	9	1	0	2	W	,	1	5	0
①	②	③						②	④		

①データ書き込みコマンド
②データ区切り
③データアドレス
④書き込みデータ

○応答電文（アプリケーション層）

0	0
①	

①終了コード

図７　WS コマンドの場合の電文構成
（アプリケーション層のみ）

```
'標準モジュール

'定数の定義（電文作成用）
Const STX = &H2
Const ETX = &H3
Const CR = &HD
Const LF = &HA
Const LX = "X"
Const SX = "x"
Const RS = "RS"
Const WS = "WS"
Const CM = ","

Public buf As String '通信データのバッファ

'RS コマンドデータの作成
Private Function mkRScmd(ByVal machADR As String, ByVal rdADR As String) As String
    Dim datalink As String, appli As String, cmmd As String
    Dim subADR As String
    Dim checkSUM As Integer
    Dim n As Integer

    subADR = "00"
    datalink = Chr(STX) & machADR & subADR & LX
    appli = RS & CM & rdADR & CM & "1"
    cmmd = datalink & appli & Chr(ETX)

    checkSUM = 0 'チェックサムの計算
    For n = 1 To Len(cmmd)
        checkSUM = checkSUM + Asc(Mid(cmmd, n, 1))
    Next n
    checkSUM = (Not (checkSUM) And &HFF) + 1

    mkRScmd = cmmd & Hex(checkSUM) & Chr(CR) & Chr(LF) '電文完成
End Function

'WS コマンドデータの作成
Private Function mkWScmd(ByVal machADR As String, ByVal wrADR As String, ByVal wrDATA As String) As String
    Dim datalink As String, appli As String, cmmd As String
    Dim subADR As String
    Dim checkSUM As Integer
    Dim n As Integer

    subADR = "00"
    datalink = Chr(STX) & machADR & subADR & LX
    appli = WS & CM & wrADR & CM & wrDATA
    cmmd = datalink & appli & Chr(ETX)

    checkSUM = 0 'チェックサムの計算
    For n = 1 To Len(cmmd)
        checkSUM = checkSUM + Asc(Mid(cmmd, n, 1))
    Next n
    checkSUM = (Not (checkSUM) And &HFF) + 1

    mkWScmd = cmmd & Hex(checkSUM) & Chr(CR) & Chr(LF) '電文完成
End Function
```

図８　プログラムモジュールのコード例

３．おわりに

本研究では，清酒の製造工程において重要となるもろみ発酵タンクの品温管理をコンピュータを用いて集中管理するために，まず，複数の発酵タンク毎の操業データをパソコン上で一括して管理するシステムの設計および製作を行なった．次に，もろみの発酵タンク毎の操業データをパソコン上

に収集するといったプログラムモジュールの作成を VBA を用いて行ない，データ集計ソフトウェアの Excel に組み込むことにより，パソコン上での操業データの収集や管理を可能とした.

参考文献

1) 増補改訂清酒製造技術，（財）日本醸造協会，(1998).
2) 第４回改正国税庁所定分析法注解，（財）日本醸造協会，(1993).
3) デジタル指示調節計 SDC25/26 取扱説明書 詳細編，（株）山武
4) 通信変換器 K3SC 取扱説明書，オムロン(株)